

Note de recherche forestière n° 48

Coefficients de distribution de la régénération nécessaires au maintien de la production des peuplements de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier

Pierre POMINVILLE¹ et René DOUCET²

F.D.C. 231--05(047.3)(714)
L.C. SD 387 .S73

Résumé

Au Québec, les règles concernant la régénération des forêts publiques sont dictées par le *Manuel d'aménagement forestier*. On y stipule qu'un exploitant doit faire en sorte d'obtenir, dans le nouveau peuplement, un coefficient de distribution de la régénération (CDR) au moins égal à celui des tiges marchandes du peuplement récolté (CDM). Cette exigence a pour but d'assurer le maintien à long terme de la production des peuplements. Elle est basée sur l'hypothèse voulant que le coefficient de distribution mesuré pendant la période de régénération demeure constant jusqu'à maturité. La présente étude remet en question cette hypothèse. Elle se penche, en outre, sur la précision que l'on obtient avec la placette-échantillon de 4 m² actuellement utilisée pour les résineux. À cette fin, le CDR et le CDM ont été calculés pour huit différentes surfaces de placette, dans 33, 31 et 13 peuplements de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier respectivement, de volumes total et marchand connus. Dans le cas du pin gris, d'importantes gammes de qualité de station et de densité ont été échantillonnées. Parmi les placettes utilisées pour cette espèce, celle de 10,89 m² s'est avérée optimale. Le gain de précision de celle-ci par rapport à celle de 4 m² a toutefois été faible. En outre, un test de nullité sur la différence entre le CDR et le CDM d'un peuplement donné a permis de rejeter, pour des peuplements équiennes des trois espèces, l'hypothèse de la stabilité du coefficient de distribution (rejet de : CDR = CDM $\Rightarrow$ production équivalente). Des équations permettant de déterminer le CDR nécessaire au maintien de la production des peuplements sont présentées dans ce rapport.

Abstract

Stockings of regeneration required to maintain production in jack pine, black spruce and balsam fir stands.

In Québec, the rules about public forest regeneration are included in the *Manuel d'aménagement forestier*, which stipulates that the stocking of regeneration (RS) in the new forest stand must be equal to the stocking of commercial trees (CS) in the forest stand which has been harvested. This requirement was set up to insure that the second-growth stands will have at least the same production as those that are being harvested. It is based on the assumption that the stocking measured during the regeneration period is maintained until maturity. In the present study, this assumption is questioned. Precision of the 4 m² plot area actually used for softwood trees has also been assessed. In that perspective, RS and CS have been calculated for eight different plot areas, in 33, 31 and 13, jack pine, black spruce, and balsam fir stands respectively, in which total and commercial volumes were known. For jack pine, considerable classes of site index and densities were covered. Within the selected plot areas for this last species, the 10,89 m² has met the optimization criteria. Nevertheless, the difference of precision observed between this plot area and the 4 m² one is slight. Furthermore, the assumption of stocking stability has been rejected for even-aged stands of the three species mentioned, on the basis of a null test on the difference between RS and CS in a given stand (rejected : RS = CS $\Rightarrow$ equivalent production). Equations to determine the required stocking for maintaining production in the second-growth stand are provided.

1 Ingénieur forestier, M.Sc., chargé de recherches en sylviculture des forêts naturelles.

2 Ingénieur forestier, Ph.D., responsable de la Division de recherche en sylviculture des forêts naturelles.

Tableau 1. Caractéristiques des peuplements échantillonnés

Caractéristique	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
Pin gris				
Volume total (m ³ /ha)	52	134	229	50,6
Volume marchand (m ³ /ha)	43	117	222	49,2
Indice de qualité de station (m à 50 ans)	7,3	14,1	17,3	2,6
Âge total (années)	42	51	67	7,9
CDR * (%)	11	45	85	18,9
CDM ** (%)	11	35	60	12,6
Nombre total de tiges/ha	300	1374	2695	622
Nombre de tiges marchandes/ha	295	1092	1825	421
Épinette noire				
Volume total (m ³ /ha)	39	158	228	50,9
Volume marchand (m ³ /ha)	11	126	207	52,0
Indice de qualité de station (m à 50 ans)	7,0	13,4	19,0	2,4
Âge total (années)	42	64	83	9,0
CDR (%)	39	64	96	13,6
CDM (%)	19	46	66	10,4
Nombre total de tiges/ha	1120	2431	5475	945
Nombre de tiges marchandes/ha	530	1576	2415	436
Sapin baumier				
Volume total (m ³ /ha)	125	226	347	72,6
Volume marchand (m ³ /ha)	101	186	321	71,2
Indice de qualité de station (m à 50 ans)	12,3	13,6	14,8	0,9
Âge total (années)	45	59	71	6,6
CDR (%)	45	71	89	14,9
CDM (%)	35	53	72	12,3
Nombre total de tiges/ha	1320	2713	4895	1116
Nombre de tiges marchandes/ha	1095	1895	2815	578

* Coefficient de distribution de la régénération avec la placette-échantillon de 4 m².

** Coefficient de distribution des tiges marchandes avec la placette-échantillon de 4 m².

Introduction

« Deux ans après la coupe avec protection de la régénération, le coefficient de distribution des essences principales doit être égal ou supérieur à celui que ces essences avaient dans le peuplement récolté.

» Dix ans après le traitement, les essences principales doivent comporter sur la même surface, un nombre suffisant de jeunes arbres dégagés, pour obtenir un coefficient de distribution au moins égal à celui qu'elles avaient dans le peuplement récolté ».

Ces normes du *Manuel d'aménagement forestier* (QUÉBEC 1989) sont basées sur une hypothèse dont la validité reste à vérifier. En effet, on ne sait pas si une équivalence entre le coefficient de distribution des semis du nouveau peuplement et celui des tiges marchandes récemment récoltées permet de déduire que ce nouveau peuplement est en mesure de reproduire ce qui vient de lui être prélevé.

Par ailleurs, plusieurs auteurs considèrent comme trop petite la placette-échantillon de 4 m² actuellement utilisée pour les résineux (HAIG 1931; COWLIN 1932; WELLNER 1940; LYNCH et SCHUMACHER 1941; CANDY 1951; BELLA et DE FRANCESCHI 1978). Ces derniers croient que, pour une espèce donnée, la surface optimale d'une placette devrait correspondre à l'espace dont un arbre a besoin pour atteindre son plein développement.

Cette question a récemment soulevé de nombreuses discussions au sein du ministère des Forêts. Le Service de la recherche appliquée a ainsi été appelé à se pencher sur les interrogations suivantes, à la demande du Service des techniques d'intervention forestière :

1. Quelle est la relation entre le coefficient de distribution de la régénération (CDR) et le volume à maturité ? Entre le coefficient de distribution des tiges marchandes (CDM) et ce même volume ? Le fait d'exiger que le CDR du nouveau peuplement soit au moins égal au CDM du peuplement récolté assure-t-il le maintien de la production ?
2. Quelle surface de placette doit-on utiliser pour évaluer le CDR et le CDM avec une précision satisfaisante ?
3. Peut-on évaluer le CDR nécessaire à une production de seconde venue équivalente, à partir du nombre de tiges marchandes à l'hectare d'un peuplement mature ?

Afin d'y répondre, deux types de relations ont été étudiées :

1. Les volumes total et marchand en fonction du CDR, puis du CDM;
2. Le CDR en fonction du CDM, puis du nombre de tiges marchandes à l'hectare.

Méthodologie

Production en fonction des coefficients de distribution

Les données et la méthode ont déjà été présentées par DOUCET (1991). Cette méthode évalue la relation entre le coefficient de distribution de la régénération d'un peuplement équienne et le volume qu'on peut y récolter à maturité. On se sert de peuplements matures ou semi-matures dans lesquels on mesure directement le volume. Le coefficient de distribution qu'avait le peuplement peu de temps après son établissement (CDR) est, pour sa part, évalué à partir de la localisation de toutes les tiges, mortes comme vivantes. Le lecteur peut se référer à DOUCET (1991) pour ce qui est des hypothèses de la reconstruction du CDR d'un peuplement mature. Dans la présente étude, cette méthode est aussi utilisée avec le coefficient de distribution des tiges marchandes (CDM) qui est basé lui, sur les tiges vivantes de plus de 9,0 cm de dhp.

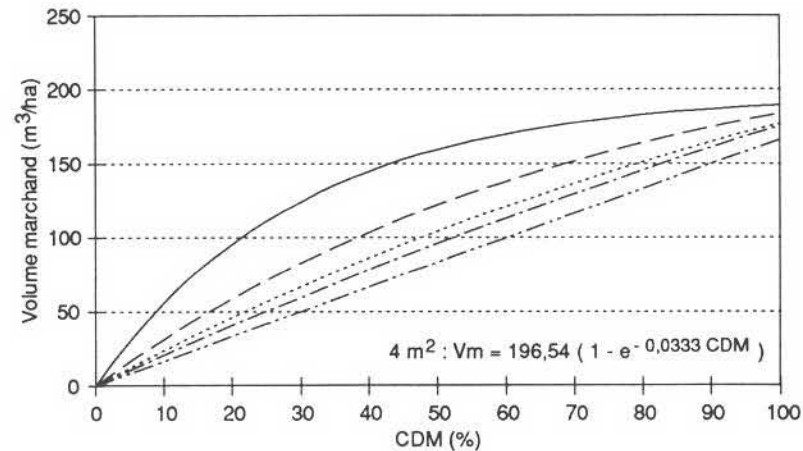
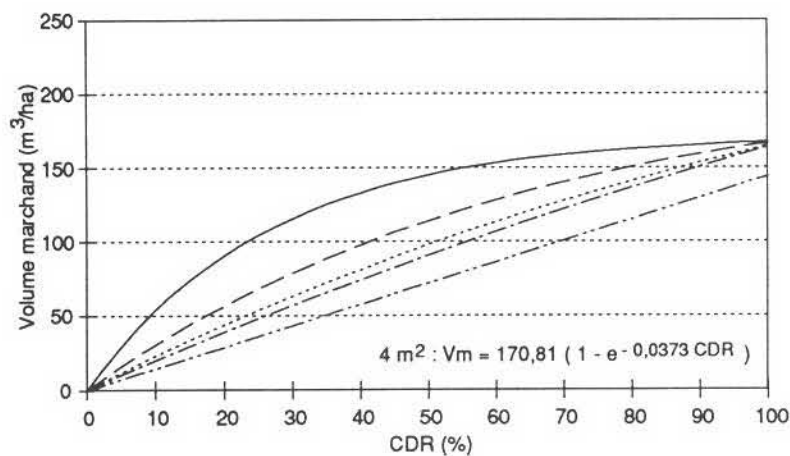
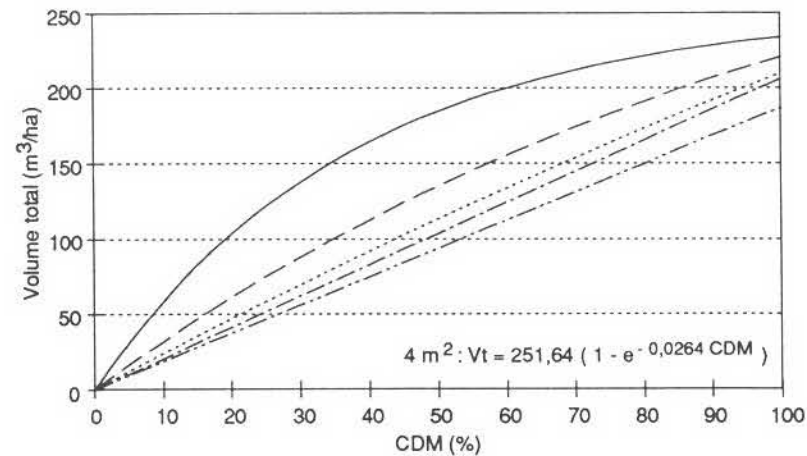
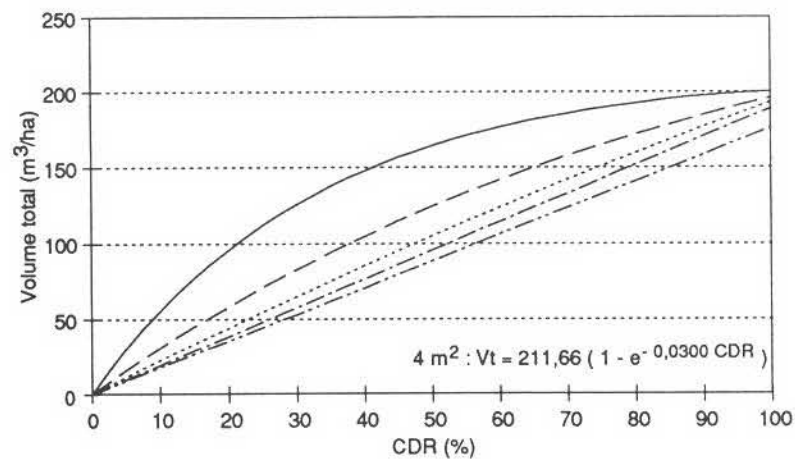
Trente-trois, 31 et 13 peuplements semi-matures de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier respectivement ont été sélectionnés pour la présente étude. La surface terrière de l'essence principale y représentait dans l'ordre 89, 76 et 63 p. 100. Les principales caractéristiques de ces peuplements sont présentées au tableau 1.

Dans chaque peuplement on délimitait une surface rectangulaire de 40 par 50 m (2 000 m²). Les tiges d'au moins 15 ans plus jeunes que le plus vieil arbre du peuplement ont été éliminées selon l'âge obtenu à 1,3 m au-dessus du sol. Toutes les autres tiges, mortes et vivantes, ont été cartographiées en fonction de leur position relative.

Le diamètre (dhp) de chaque tige a été mesuré à 1,3 m du sol avec une précision de 1 mm. Dans chaque peuplement, la hauteur et l'âge à 1,3 m du sol, ont été mesurées sur des tiges représentatives couvrant toutes les classes de diamètre. L'âge total de ces tiges a été calculé selon la méthode d'HAHN et CARMEAN (1982).

Au moyen de simulations sur ordinateur, chacun des 77 dispositifs rectangulaires de 2 000 m² a été balayé en totalité par des placettes carrées de huit différentes surfaces comprises entre 1 et 16 m². Ce balayage a permis de calculer les coefficients de distribution de chaque dispositif, c'est-à-dire le pourcentage de placettes contenant au moins une tige (PAQUET 1984), le CDR en tenant compte de toutes les tiges, le CDM des tiges vivantes de plus de 9,0 cm de dhp.

Les volumes total et marchand des tiges vivantes ont été estimés au moyen des tarifs de cubage de TREMBLAY (1966) et de PERRON (1980) respectivement. L'indice de qualité de station a été calculé au moyen des formules de PAYENDEH (1977) à partir des données sur l'âge et la hauteur des dominants et codominants. Les volumes total et marchand ont été mis en relation alternativement avec le CDR et le CDM.



Placette: — 4 — 8,12 10,89 — 12,74 16 m²
 *CDR: coefficient de distribution de la régénération
 **CDM: coefficient de distribution des tiges marchandes

Figure 1. Production du pin gris à 50 ans en fonction du CDR et du CDM avec un indice de qualité de station de 15 mètres à 50 ans.

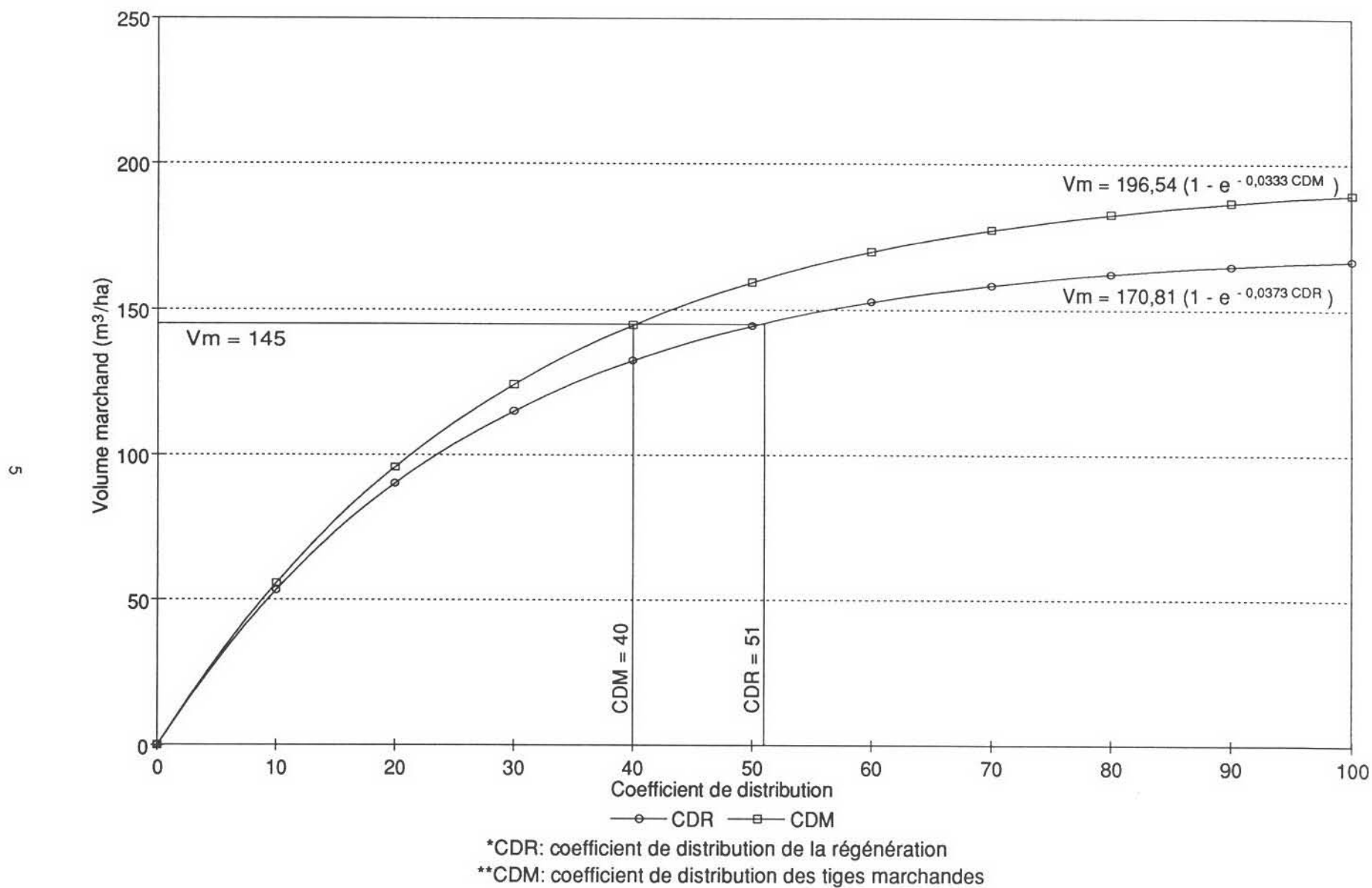


Figure 2. Évolution de l'écart entre le CDR et le CDM en fonction de la production du pin gris à 50 ans pour une placette de 4 mètres carrés et un indice de qualité de station de 15 mètres à 50 ans.

À une exception près, où la régression linéaire était plus appropriée, les équations suivantes ont été employées avec la méthode itérative de Gauss-Newton (DOUCET 1991; POMINVILLE et DOUCET 1992) :

$$V = B_1 I^{B_2} (1 - e^{B_3 CD}) (1 - e^{B_4 A}) \quad (1)$$

$$V = B_1 I^{B_2} CD^{B_3} A^{B_4} \quad (2)$$

où V = Volume total ou marchand (m^3/ha)

I = Indice de qualité de station (m à 50 ans)

CD = Coefficient de distribution de la régénération ou des tiges marchandes (CDR ou CDM) (%)

A = Âge total du peuplement (années)

e = Base des logarithmes naturels

B_i = Paramètres à estimer ($i = 1$ à 4).

Coefficient de distribution de la régénération en fonction du coefficient de distribution des tiges marchandes

L'équation de régression non linéaire suivante a été utilisée afin d'établir la relation du CDR en fonction du CDM du pin gris :

$$CDR = B_1 CDM^{B_2} \quad (3)$$

Elle présente l'avantage de passer par l'origine et permet un bon ajustement pour les relations du type CDR-CDM. La méthode itérative de Gauss-Newton a été utilisée.

La régression linéaire fut plus appropriée pour l'épinette noire et le sapin baumier. Une pondération des valeurs observées de $1/CDM$ a dû être utilisée pour les placettes de 1 à 6,25 m^2 avec le pin gris comparativement à $1/CDM^2$ pour les autres placettes et l'épinette noire. Aucune pondération n'a été utilisée pour le sapin baumier. Le CDR et le CDM étant très dépendants (corrélés) statistiquement, cette opération a été nécessaire afin de réduire l'impact de l'hétéro-cédasticité, c'est-à-dire d'une augmentation rapide de la variance en fonction de l'accroissement d'une variable explicative, en l'occurrence le CDM. Pour chaque espèce et chaque surface de placette, un test de nullité pairé du T a été effectué sur la différence entre le CDR et le CDM.

L'état d'équilibre des peuplements de pin gris a ensuite été vérifié. En effet, un certain nombre des peuplements semi-matures étudiés aurait pu comporter des tiges non marchandes mais qui étaient destinées à le devenir à un âge plus avancé. Ceci aurait peut-être affecté l'estimation du CDM et par conséquent, la relation entre le CDR et le CDM. À cette fin, tous les peuplements qui n'avaient pas au moins 90 p. 100 de leurs tiges vivantes dans la classe marchande ont été temporairement éliminés. Le groupe restant, constitué de 12 peuplements, a alors subi le même test que le groupe initial, ce qui a permis de les comparer.

Surface optimale de la placette-échantillon

Après avoir obtenu, au moyen de la régression, les équations des courbes de prédiction des volumes, on a calculé l'écart-type moyen correspondant à chaque surface de placette. Les courbes de l'écart-type moyen des volumes total et marchand ont ensuite été tracées en fonction de cette surface, dans le but d'identifier un minimum éventuel pouvant correspondre à la surface optimale.

Coefficient de distribution de la régénération en fonction du nombre de tiges marchandes à l'hectare

Les relations entre le CDR et le nombre de tiges marchandes à l'hectare (NTM) ont été établies à partir de l'équation de régression suivante :

$$CDR = B_1 + B_2 NTM^{B_3} \quad (4)$$

Résultats et discussion

Production en fonction des coefficients de distribution

La figure 1 illustre, pour des placettes de 4 à 16 m^2 , les relations des volumes total et marchand du pin gris en fonction de chacun des deux coefficients de distribution (CDR et CDM). Un échantillon plus complet a été récolté pour cette espèce. En effet, le pin gris représentait mieux les peuplements de faible densité, dont la production est particulièrement sensible aux variations du coefficient de distribution. Le lecteur peut se référer à POMINVILLE et DOUCET (1992) pour les équations et la validité statistique des courbes de la figure 1 ainsi que pour celles de l'épinette noire et du sapin. Mentionnons que ces dernières espèces ont donné des résultats semblables à ceux du pin gris.

La figure 1 révèle, pour la placette de 4 m^2 , une augmentation rapide de la production comme conséquence de toute hausse du coefficient de distribution entre 0 et 40 p. 100. L'effet d'une hausse du coefficient diminue rapidement par la suite. Ainsi à partir de 50 p. 100, les possibilités d'augmentation de la production deviennent de plus en plus faibles. Enfin, les gains sont minimes au-dessus de 60 p. 100. Pour les placettes plus grandes la production est à peu près proportionnelle au coefficient de distribution.

Ces résultats semblent indiquer d'une part, que 4 m^2 est inférieur à la surface minimale dont une tige de pin gris a besoin pour se rendre à maturité. Ce n'est pas le cas des placettes de 8,12, 10,89 et 12,74 m^2 , avec lesquelles on obtient une production à peu près proportionnelle au pourcentage de l'utilisation du sol par les arbres (CDR ou CDM). En effet, à la figure 1, les courbes de ces placettes sont presque des droites. D'autre part, avec la placette de 4 m^2 , on note qu'un CDR (des jeunes tiges bien dégagées) de 50 p. 100 devrait suffire à l'obtention d'une production raisonnable.

La figure 2 permet de comparer l'écart entre le CDR et le CDM pour différents niveaux de production. Selon cette figure, qui représente des peuplements de pin gris de 50 ans avec un indice de qualité de station de 15 m à 50 ans, l'écart entre le

CDR et le CDM est faible pour des volumes marchands inférieurs à 100 m³/ha. Il s'accroît toutefois rapidement à mesure que ce volume augmente. Ainsi, toujours selon la figure 2, pour obtenir 145 m³/ha à 50 ans, un CDR de 51 p. 100 est nécessaire alors que la valeur du CDM observée pour ce même volume n'est que de 40 p. 100. Ici il est important de noter que le CDR et le CDM ont été estimés dans les mêmes peuplements. Ce fait est important puisqu'il implique, si le CDR et le CDM ont été évalués avec suffisamment de précision, que l'hypothèse de la stabilité du coefficient de distribution (CDR = CDM $\Rightarrow$ production équivalente) devrait être rejetée. Dans l'exemple précédent, l'application de cette norme (CDR = CDM = 40 p. 100) se traduisait par une perte de production de 13 m³/ha.

Coefficient de distribution de la régénération en fonction du coefficient de distribution des tiges marchandes

La figure 3 illustre, pour le pin gris, les relations du CDR en fonction du CDM pour huit surfaces de placette comprises entre 1 et 16 m². Les résidus obtenus pour les courbes de cette figure ont montré une distribution satisfaisante après pondération. Ces courbes ont toutes un pseudo-R² supérieur à 0,91. Les équations de ces courbes, de même que celles de l'épinette noire et du sapin qui ne se rapportent pas à la placette de 4 m², sont présentées dans POMINVILLE et DOUCET (1992).

Ce qui ressort de la figure 3, c'est qu'aucune surface de placette, y compris celle de 16 m², ne permet d'atteindre l'égalité entre le CDR et le CDM pour des productions équivalentes. Une telle égalité se traduirait par une courbe passant près de la droite que l'on peut obtenir en reliant les points (0,0) et (100, 100). De plus, la différence ($\bar{x}$) entre le CDR et le CDM est nettement significative. Avec la placette de 4 m², on obtient : $\bar{x} = 9,8$ p. 100; $s = 8,5$; $t = 6,67$ et ($P > t$) $\geq 0,0001$ dans les peuplements de pin gris; ($\bar{x}$) = 17,8 p. 100; $s = 9,2$; $t = 10,78$ et ($P > t$) $\geq 0,0001$ dans les peuplements d'épinette noire et ($\bar{x}$) = 17,9 p. 100; $s = 7,3$; $t = 8,79$ et ($P > t$) $\geq 0,0001$ dans les peuplements de sapin. Si le CDR et le CDM ont été estimés avec suffisamment de précision, cela veut dire qu'il s'est produit de la mortalité due à des facteurs autres que la compétition intraspécifique au cours de l'évolution des peuplements étudiés.

Cette différence entre le CDR et le CDM, observée pour les trois espèces, s'accroît avec une diminution de la surface de la placette. Ainsi, la mortalité qu'entraîne la compétition entre les arbres tient certainement un rôle important. Même dans les peuplements de faible densité, il peut y avoir présence de bouquets relativement denses où s'opère une concurrence importante.

Ceci explique pourquoi, lors d'un inventaire effectué dans un peuplement mature, plusieurs placettes, si elles sont de faibles dimensions, ne contiennent pas de tiges marchandes alors qu'elles auraient contenu de la régénération peu de temps après l'établissement du même peuplement. Néanmoins, un pourcentage non négligeable de mortalité dû à des facteurs autres que la compétition intraspécifique

semble aussi intervenir. En effet, le CDM est inférieur au CDR avec des placettes aussi grandes que 16 m². Ce phénomène a aussi été observé par CARLETON et WANNAMAKER (1987). Ces derniers rapportent que la mortalité dans des peuplements d'épinette noire issus de feux est nulle au cours des 30 premières années. Par la suite elle augmente progressivement pendant environ 20 ans avant d'atteindre un taux plus stable. Ils ont aussi observé cette mortalité dans les sites de faible densité. Ces auteurs concluent en outre que la densité n'est pas le seul facteur responsable de la mortalité.

La figure 4 illustre, pour chacune des trois espèces, les valeurs calculées et observées du CDR en fonction du CDM avec la placette de 4 m². Les équations obtenues sont les suivantes :

Pin gris :

$$CDR = 0,8022 CDM^{1,1279};$$

$$n = 33; \text{pseudo-}R^2 = 0,9136;$$

Épinette noire :

$$CDR = -4,7667 + 1,4300 CDM;$$

$$n = 28; R^2 = 0,8397;$$

Sapin baumier :

$$CDR = 14,8700 + 1,0570 CDM;$$

$$n = 13; R^2 = 0,7590.$$

L'équation de l'épinette ne devrait être employée que pour des valeurs du CDM supérieures à 30 p. 100; les données disponibles ne représentaient que cette région. L'équation du sapin n'est présentée qu'à titre indicatif. Son utilisation n'est pas recommandée car elle a été obtenue à partir d'un échantillon limité représentant surtout les peuplements les plus denses, pour lesquels les corrélations entre le CDR et la production sont faibles. Le tableau 2 résume, à partir d'exemples, ce qu'on obtient pour le pin gris et l'épinette noire et inclut les productions correspondantes.

Les valeurs du CDR du tableau 2 sont très près de celles qu'on peut calculer à la figure 2 au moyen d'une méthode graphique faisant intervenir le volume marchand. Encore une fois, exiger que le CDR dépasse 60 p. 100 (placette de 4 m²) semblerait injustifié. Les gains de production qu'on obtient pour des valeurs plus grandes sont faibles. Dans le cas du CDM, 60 p. 100 constituerait un « plafond » si l'on se base sur les maxima rencontrés sur le terrain (tableau 1). À la figure 3, le CDM dépasse à peine 60 p. 100, quand le CDR atteint une valeur théorique de 100 p. 100. La figure 1 suggère la même chose. On y constate des gains de production peu considérables au-dessus de 60 p. 100.

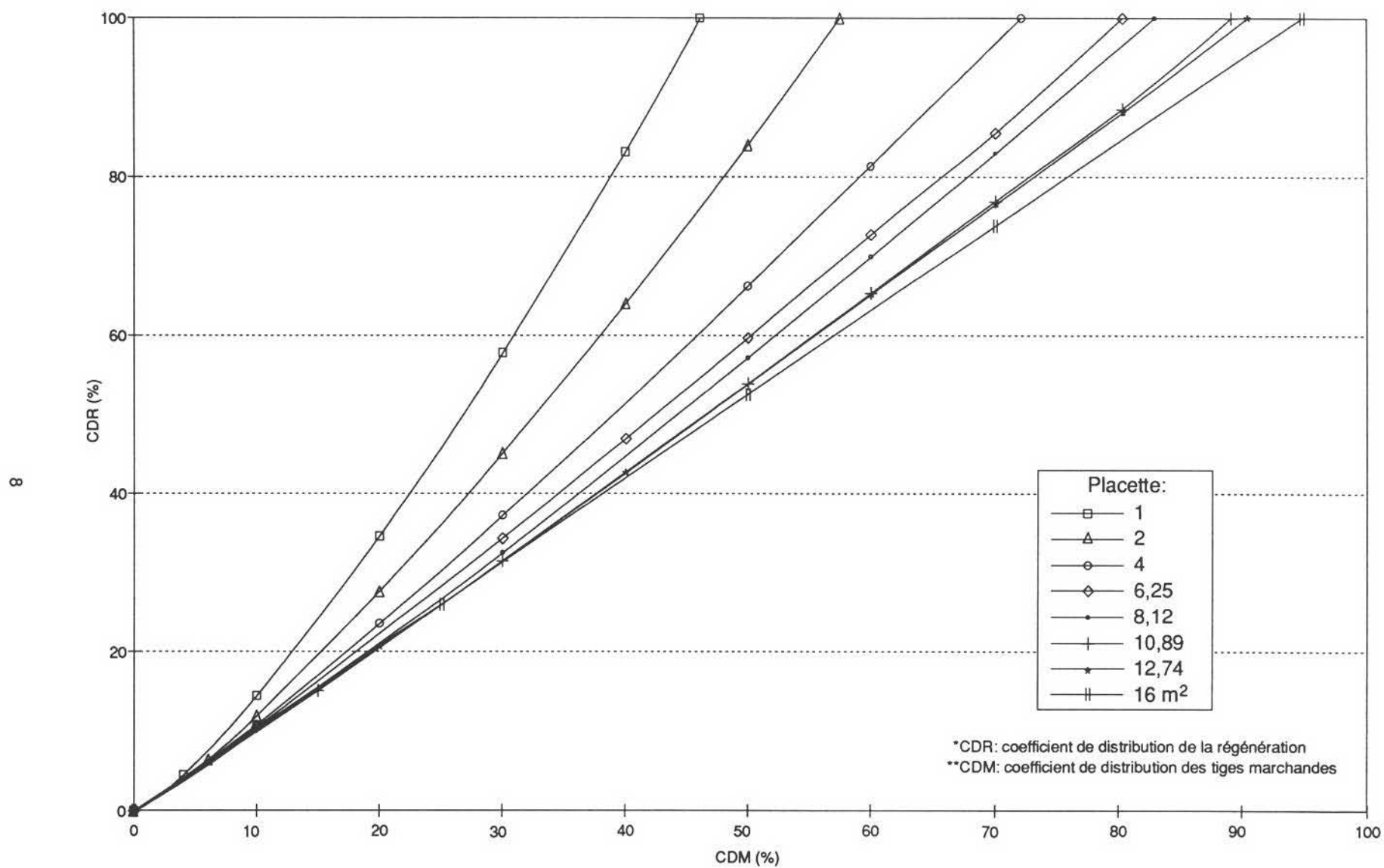


Figure 3. CDR en fonction du CDM du pin gris pour des classes d'indice de qualité de station de 9 à 18 mètres à 50 ans.

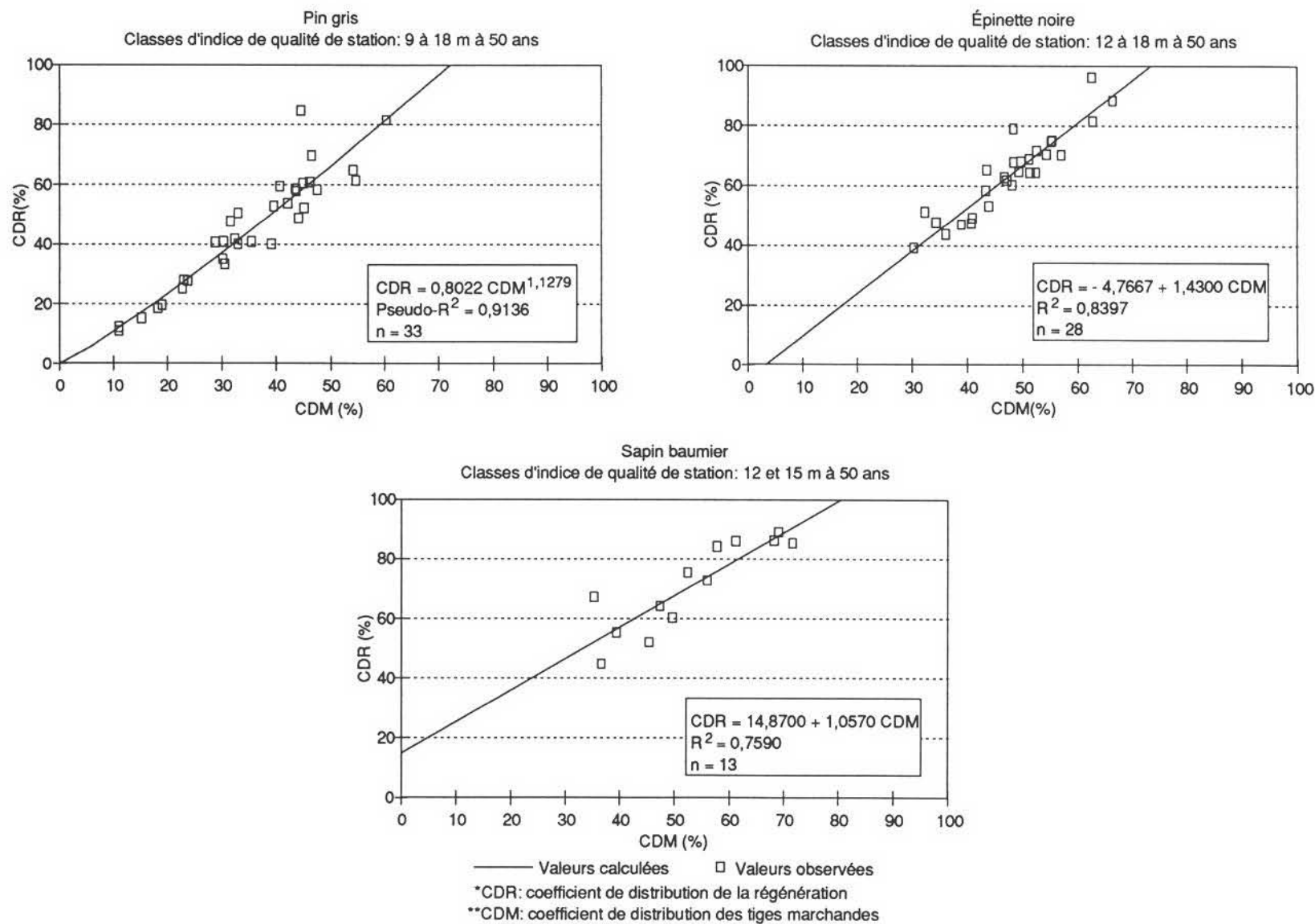


Figure 4. Valeurs calculées et observées du CDR en fonction du CDM avec une placette de 4 mètres carrés.

Tableau 2. Exemples de CDR nécessaires à l'obtention d'un CDM donné et rendements correspondants (placette : 4 m²)

CDM (%)	CDR (%)		Volume marchand (m ³ /ha)	
	Pin gris ¹	Épinette noire ²	Pin gris ³	Épinette noire ⁴
30	37	38	124	94
35	44	45	134	97
40	51	52	145	100
45	59	60	151	103

¹ $CDR = 0,8022 CDM^{1,128}$.

² $CDR = -4,77 + 1,43 CDM$.

³ $Vm = 1,7856 I^{2,0282} (1 - e^{-0,033 CDM}) (1 - e^{-0,0121 A})$, où $I = 15$ m à 50 ans et $A = 50$ ans.

⁴ $Vm = 0,0054 I^{1,8872} CDM^{0,2212} A^{1,0351}$, où $I = 12$ m à 50 ans et $A = 65$ ans.

Par contre, lorsque le CDR est inférieur à 60 p. 100, il serait préférable d'exiger un CDR légèrement supérieur au CDM, si l'on tient à s'assurer de la production minimale visée. À cette fin, la relation du CDR en fonction du CDM obtenue pour le pin gris, pourrait s'appliquer aux trois espèces étudiées (tableau 2).

Précision de l'évaluation du CDM

On pourrait objecter que les différences entre le CDR et le CDM sont dues au fait que les peuplements étudiés étaient relativement jeunes et contenaient plusieurs tiges destinées à atteindre la classe marchande à un âge plus avancé. Cependant, l'étude des 12 peuplements dans lesquels 90 p. 100 des tiges vivantes étaient marchandes a donné un résultat comparable à celui de l'ensemble des peuplements, même si la différence ($\bar{x}$) entre le CDR et le CDM était légèrement inférieure ($\bar{x} = 6,8$ p. 100; $s = 8,8$; $t = 2,67$ et $(P > t) = 0,0216$).

Surface optimale de la placette-échantillon

La figure 5 présente l'effet de la surface de la placette sur l'écart-type moyen des volumes total et marchand du pin gris. L'écart-type le plus faible se trouve à 10,89 m², autant pour le volume total que pour le volume marchand. Ainsi, tous les résultats obtenus pour le pin gris semblent indiquer que la placette optimale est d'environ 10 m². Pour l'épinette noire et le sapin baumier aucune tendance particulière n'a pu être décelée, la région la plus importante des coefficients de distribution n'ayant pas été suffisamment représentée par les données disponibles.

L'obtention d'un minimum à la figure 5 est particulièrement intéressante. En effet, le volume et la surface de la placette sont deux variables totalement indépendante. Le volume a

été mesuré à partir du diamètre et de la hauteur des tiges à l'intérieur de chacun des dispositifs (voir la méthodologie). Il n'est donc aucunement influencé par les surfaces des différents carrés qui ont servi à balayer ces dispositifs afin d'en déterminer le CDR et le CDM qui eux, dépendent de la position des tiges.

En d'autres mots, étant donné la méthode utilisée, l'écart-type moyen du volume ne varie que sous l'influence d'une seule et unique variable : la surface de la placette. Cependant, dans l'échantillon étudié l'effet de la surface de la placette a été faible. Ainsi, la placette de 4 m² s'est avérée précise, ne montrant que des différences de 5 m³ d'écart-type moyen avec la placette optimale obtenue. Donc, si l'on se base sur les peuplements échantillonnés, la placette de 4 m² pourrait être conservée. Il est cependant important de mentionner que les peuplements originaux de feux utilisés pour cette étude ne montraient pas une agrégation spatiale prononcée. Les résultats pourraient donc être différents si la coupe se traduisait par un degré supérieur d'agrégation de la régénération.

Certains auteurs (HAIG 1931; WELLNER 1932; STEIN 1983) considèrent que la surface optimale équivaut à l'espace dont un arbre a besoin pour se développer jusqu'à maturité. Ainsi, si l'on divise une aire donnée en carrés de surface optimale, chacun devrait contenir une tige marchande pour que le peuplement arrivé à maturité soit pleinement stocké. Selon cette hypothèse, pour une placette de 10 m², un peuplement de pin gris pleinement stocké contiendrait environ 1 000 tiges marchandes à l'hectare à maturité. BELLA et DE FRANCESCHI (1976, 1978) arrivent à la même conclusion avec une méthode différente. Ces chiffres apparaissent très plausibles si l'on se réfère aux tables de rendement de BOUDOUX (1978). Par contre, si l'on se basait sur le CDM maximal, on obtiendrait une surface optimale plus faible, c'est-à-dire d'environ 8 m². En effet, avec un CDM maximal d'à peu près 82 p. 100 pour cette placette (figure 3), on obtient aussi environ 1000 tiges marchandes à l'hectare.

En somme, la surface optimale pourrait varier en fonction de diverses conditions. Ainsi, dans des peuplements bien aménagés où les tiges présenteraient une distribution passablement systématique, les placettes les plus petites, comme celle de 4 m², pourraient être avantageuses. Elles permettraient de mieux déceler la présence d'un plus grand nombre de tiges bien distribuées à l'hectare. Par exemple, un peuplement uniquement constitué de 1 000 tiges bien distribuées à l'hectare pourrait avoir un CDR de 100 p. 100 avec la placette de 10 m² et de 40 p. 100 avec celle de 4 m². Un autre, avec 1 500 tiges bien distribuées à l'hectare, dans lequel le CDR serait toujours de 100 p. 100 avec la placette plus grande se rapprocherait toutefois de 60 p. 100 avec celle de 4 m². La placette plus petite permettrait donc, dans un tel cas, de détecter une différence importante du point de vue de la production. Ce cas constitue bien sûr un extrême. Même dans les peuplements plutôt homogènes de la présente étude, un CDR de 100 p. 100 avec la placette de 10 m² correspond en moyenne à un CDR mesuré avec celle de 4 m² d'environ 75 p. 100. Ainsi, puisque dans les peuplements étudiés, peu de différences ont été observées entre ces deux placettes, le choix définitif d'une grandeur de placette devrait être basé sur d'autres critères que ceux étudiés ici.

Coefficient de distribution de la régénération en fonction du nombre de tiges marchandes à l'hectare

La figure 6 illustre les valeurs calculées et observées du CDR (placettes de 4 m²) en fonction du nombre de tiges marchandes à l'hectare (NTM) du pin gris, de l'épinette noire et du sapin baumier. Les équations sont les suivantes :

Pin gris :

$$CDR = -15,10 + 0,5223 NTM^{0,680};$$

$$n = 29; \text{pseudo-}R^2 = 0,8900;$$

Épinette noire :

$$CDR = 13,90 + 0,0304 NTM;$$

$$n = 28; R^2 = 0,7400;$$

Sapin baumier :

$$CDR = 30,70 + 0,0200 NTM;$$

$$n = 13; R^2 = 0,6780.$$

Encore une fois, ces résultats sont peu fiables pour le sapin à cause du petit nombre d'observations. Pour l'épinette, l'absence d'observation pour des NTM inférieurs à 1 000 rend impossible l'emploi de régressions non linéaires qui conduiraient à une surestimation du CDR aux densités faibles. Il faut donc être prudent en-dessous de cette valeur avec l'équation obtenue.

Le tableau 3, élaboré à l'aide des équations précédentes, illustre la relation entre le CDR et le nombre de tiges marchandes à l'hectare (NTM). On y présente aussi un équivalent au CDR nécessaire (CDR équivalent) obtenu en divisant le NTM par 2500. Comme on peut le constater au tableau 3, les valeurs de cette variable correspondent à celles du CDR nécessaire. Ainsi, en tenant compte de la réserve déjà indiquée pour l'épinette noire, on peut conclure qu'avec ce CDR équivalent on est raisonnablement assuré d'obtenir une production équivalente. Enfin, on arrive sensiblement aux mêmes résultats pour le CDR nécessaire, que l'on utilise l'une ou l'autre des deux méthodes proposées dans ce rapport. Évidemment, le fait que le NTM soit une donnée facile à obtenir confère un avantage à la méthode faisant appel à cette variable.

Conclusion

Les peuplements étudiés ont montré, au cours de leur évolution, une mortalité qui n'est pas uniquement attribuable à la compétition intraspécifique. Il en résulte que le coefficient de distribution exigé pour un peuplement en régénération (CDR) devrait être légèrement supérieur à celui des tiges marchandes récemment récoltées dans ce peuplement (CDM). Cela semble du moins nécessaire si l'on veut s'assurer d'une production équivalente tout en respectant une certaine marge de sécurité. Deux méthodes de calcul du CDR nécessaire au maintien d'une production équivalente ont été proposées dans ce rapport. L'une utilise le CDM, l'autre le nombre de tiges marchandes à l'hectare.

Il convient de noter que le problème de la végétation compétitrice n'a pas été pris en compte. Ce problème ne se pose pas avec le CDR mesuré à 10 ans, car dans ce cas, on ne considère que les tiges dégagées. Mais il se pose lors de l'inventaire à 2 ans, qui tient compte de toutes les tiges (dégagées ou non). Or, rien n'assure que le CDR total à 2 ans est égal au CDR dégagé à 10 ans. Les informations recueillies lors des inventaires effectués deux ans après la coupe ne devraient donc pas servir d'intrants dans les modèles que nous proposons.

Par ailleurs, selon nos résultats, une placette d'environ 10 m² semble préférable à celle de 4 m² pour évaluer le coefficient de distribution du pin gris avec le plus de précision possible. Néanmoins, le gain obtenu avec cette placette n'ayant pas été très prononcé, nous croyons que la surface de 4 m² actuellement utilisée ne devrait pas poser de problèmes. Pour plus de certitude, une étude sur des peuplements originaires de coupes serait nécessaire. Avec l'épinette noire et le sapin baumier, aucune surface optimale n'a pu être établie mais les tendances sont sensiblement les mêmes qu'avec le pin gris.

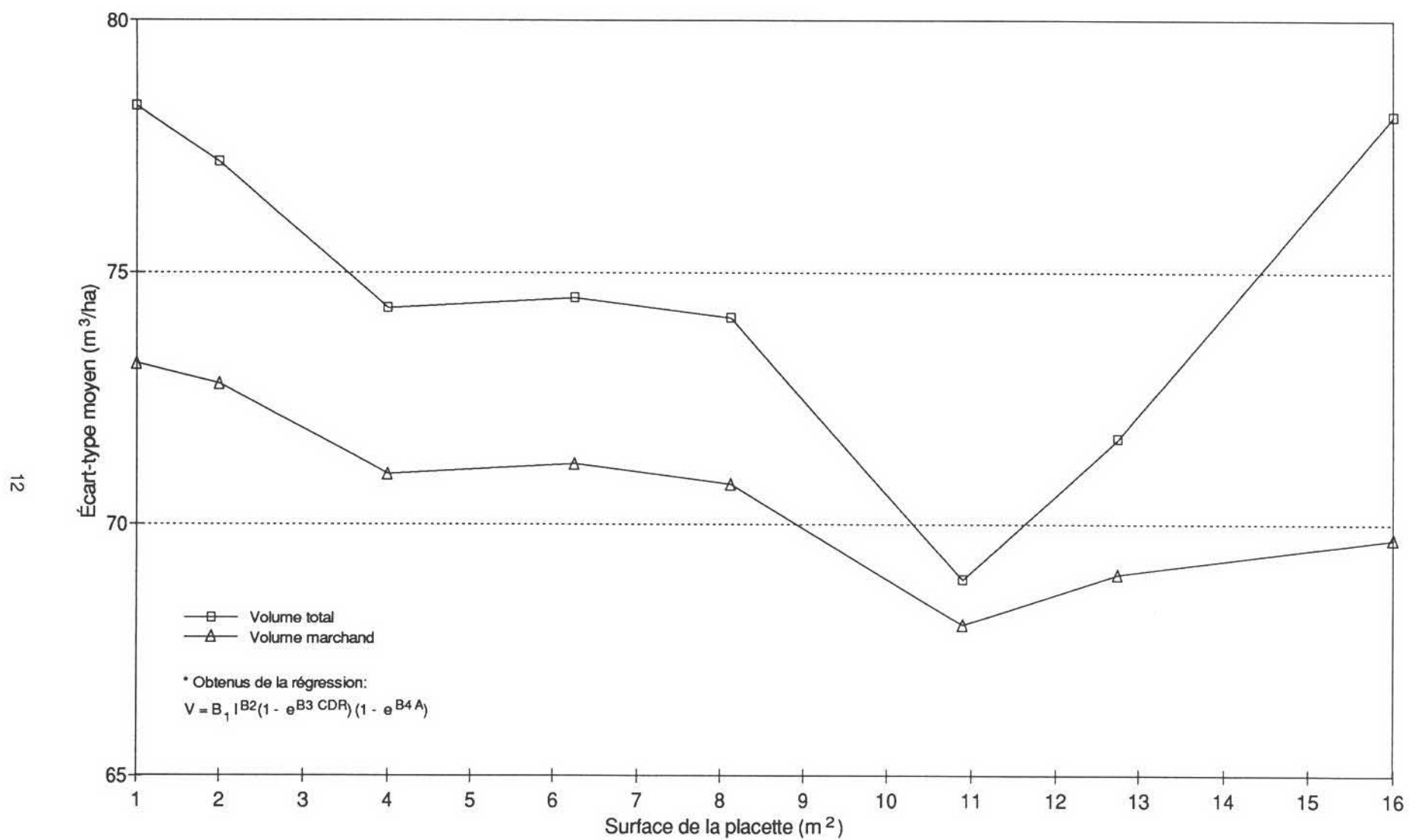
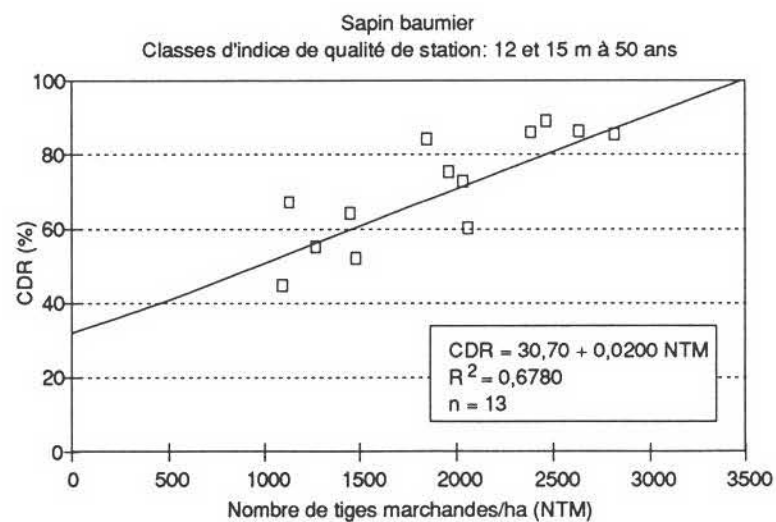
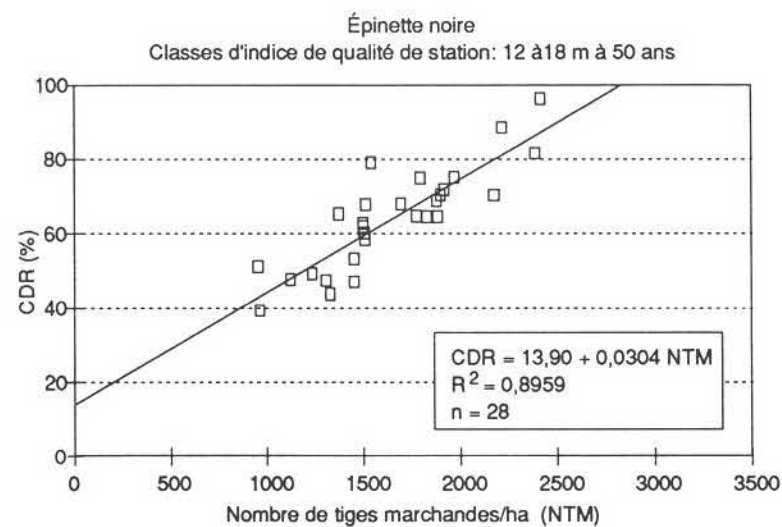
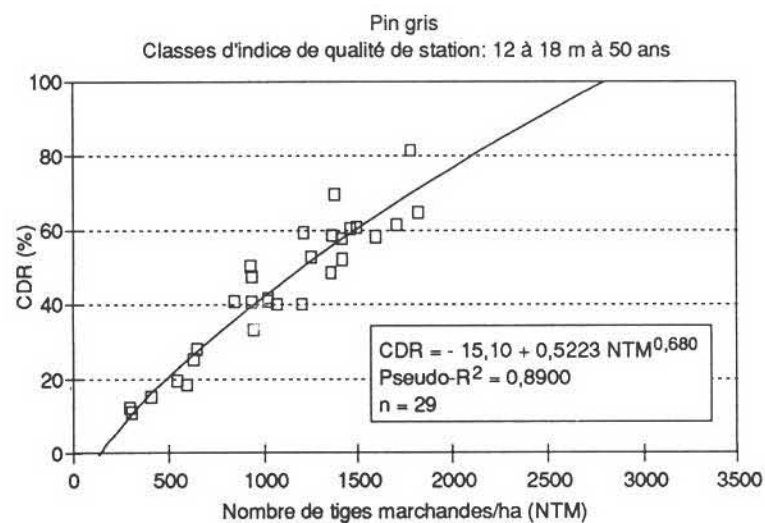


Figure 5. Effet de la surface de la placette sur l'écart-type moyen des volumes du pin gris.



— Valeurs calculées □ Valeurs observées
*CDR: coefficient de distribution de la régénération
**NTM: nombre de tiges marchandes/ha

Figure 6. Valeurs calculées et observées du CDR en fonction du NTM avec une placette de 4 mètres carrés.

Tableau 3. Exemples de CDR nécessaires à une production équivalente en fonction du nombre de tiges à l'hectare et CDR équivalents (placette : 4 m²)

NTM ¹	CDR équivalent ²	CDR nécessaire (%)	
		Pin gris	Épinette noire
750	30	32	37
1000	40	42	44
1250	50	52	52
1500	60	60	60

¹ Nombre de tiges marchandes à l'hectare.

$$^2 \text{ CDR équivalent} = \frac{NTM}{2500}$$

Remerciements

La réalisation du présent document aurait difficilement été possible sans la participation de Louis Blais, statisticien à la Division de biométrie et d'informatique. Ses judicieux conseils ont été hautement appréciés. Nos remerciements vont aussi à Ghislain Dubé, de la même division, et à son équipe pour l'aide apportée relativement aux questions informatiques. Nous sommes aussi redevables envers Jean-Claude Ruel, Michel Tremblay, Anne Stein et Louis Bélanger qui ont bien voulu commenter le manuscrit, envers Fabien Caron pour la révision et l'édition, Lévis Beaulieu et Raymond Castonguay pour la confection des graphiques, ainsi qu'envers Sylvie Bourassa et Nathalie Samson qui ont dactylographié le texte.

Bibliographie

- BELLA, I.E., 1976. *Assessment of regeneration stocking standards used in Alberta*. Can. For. Serv., North. For. Res. Ctr., Inf. Rep. NOR-X-167. 38 p.
- BELLA, I.E. et J.P. DE FRANCESCHI, 1978. *Assessment of regeneration stocking standards used in Alberta : a follow-up*. Can. For. Serv., North. For. Res. Ctr., Inf. Rep. NOR-X-211. 24 p.
- BOUDOUX, M., 1978. *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris*. Serv. can. des forêts, Centre de rech. for des Laurentides en coll. avec le min. des Terres et Forêts du Québec. 101 p.
- CANDY, R.H., 1951. *Reproduction on cut-over land in Canada*. Min. Resour. and Envir., For. Res. Div., Silv. Res. Note 92. 224 p.
- CARLETON, T.J. et B.A. WANNAMAKER, 1987. *Mortality and self-thinning in post-fire black spruce*. Annals of Botany 59 : 621-628.
- COWLIN, R.W., 1932. *Sampling Douglas-fir reproduction stands by the stocked-quadrat method*. J. For. 30 : 437-439.
- DOUCET, R., 1991. *The influence of stocking of regeneration on the yield of naturally regenerated jack pine and black spruce stands*. Simpson, C.M. (éd.). 1991. Proceedings of the conference on natural regeneration management, Fredericton, N.B., March 27-28 1990. Forêts Canada, Région des Maritimes : 181-192.
- HAHN, J.T. et W.H. CARMEAN, 1982. *Lake States site index curves formulated*. USDA For. Serv. North Central For. Exper. Sta., Gen. Tech. Rep. NC-88. 5 p.
- HAIGH, I.T., 1931. *The stocked-quadrat method of sampling reproduction stands*. J. For. 29 : 747-749.
- LYNCH, D.W. et F.X. SCHUMACHER, 1941. *Concerning the dispersion of natural regeneration*. J. For. 39 : 49-51.
- PAQUET, G., 1984. *Normes d'inventaire de régénération*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Serv. de la restauration. 58 p.
- PAYANDEH, B., 1977. *Metric site index formulae for major Canadian timber species*. Fish. and Environ. Canada, Bi-monthly Res. Notes 33 : 37-39.
- PERRON, J.-Y., 1980. *Tarif de cubage général (volume marchand brut)*. Min. de l'Énergie et des Ressources du Québec, Serv. de l'inventaire for. 52 p.
- PLONSKI, W.L., 1974. *Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario*. Ontario Min. Natural Res., Div. For. 40 p.
- POMINVILLE, P. et R. DOUCET, 1992. *Évaluation du coefficient de distribution de régénération nécessaire pour atteindre les objectifs de production dans les peuplements de pin gris, d'épinette noire et de sapin baumier*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Rapport interne n° 353. 45 p.
- QUÉBEC, 1989. *Manuel d'aménagement forestier*. Min. de l'Énergie et des Ress. du Québec. 98 p. + annexes.
- STEIN, W.I., 1983. *Fixed-plot methods for evaluating forest regeneration*. Proc. Soc. Amer. For. Convention, Portland, Oregon : 129-135.
- TREMBLAY, P.-H., 1966. *Tarifs de cubage généraux*. Min. Terres et Forêts, Serv. de l'inventaire for. 44 p.
- VÉZINA, P.-É. et A. LINTEAU, 1968. *Growth and yield of balsam fir and black spruce in Québec*. Can. Dept. For. Rural Development, For. Branch. Forest Research Laboratory, Québec Region. Inf. Rep. (Q-X-2) : 19-26.
- WELLNER, C.A., 1940. *Relationship between three measures of stocking in natural reproduction of the western white pine type*. J. For. 38 : 636-638.

Note n° 48 par P. POMINVILLE et R. DOUCET, 1993

Errata

(page 2, tableau 1, ligne 4)
(rétablir les chiffres dans leur colonne)

(page 3, col. 2, parag. 2, ligne 4)
... y représentait dans l'ordre **au moins** 89, 76 et

(page 14, tableau 3, note 2)
CDR équivalent...